

El ferrocarril de Alicante a Alcoy y los grandes viaductos de hormigón armado¹

III

VIADUCTO SOBRE EL BARRANCO DE SIETE LUNAS

Cálculo de una bóveda empotrada rebajada al $\frac{1}{5}$ de hormigón armado, de 44 m de luz

La bóveda es de sección circular, de 44 m de luz entre los arranques de intradós y 8,80 m de flecha, teniendo, por tanto, un rebajamiento de $\frac{1}{5}$. Con este valor del rebajamiento se sabe que prácticamente se puede sustituir el arco rebajado por otro parabólico de iguales luz y flecha, con lo cual se facilita extraordinariamente el desarrollo de los cálculos. Esto es lo que se ha hecho definiendo la directriz de la parábola por la ecuación

$$I = \frac{4f}{l^2} x(l-x)$$

El espesor en la clave de la bóveda se ha fijado en 1,10 m, y en los arranques en 1,50 m, siendo el ancho de 3,60 m. Para las restantes secciones y sus momentos de inercia correspondientes se ha seguido el criterio racional de suponerlos variables con el coseno del ángulo que forma la tangente a la parábola con la horizontal. Así, llamando I_c y S_c al momento de inercia y sección en la clave, respectivamente, y α el ángulo de inclinación, se tendrá:

$$I = \frac{I_c}{\cos \alpha} \quad S = \frac{S_c}{\cos \alpha}$$

Llamemos m , H y V las reacciones desconocidas en el empotramiento izquierdo de la bóveda; M y N el momento flector y esfuerzo normal respectivos en una sección cualquiera. La teoría de elasticidad nos proporciona ahora el siguiente sistema de ecuaciones:

$$\left. \begin{aligned} \frac{1}{EI_c} \int_0^l M \frac{dM}{dm} ds + \frac{1}{ES_c} \int_0^l M \frac{dN}{dm} ds &= 0 \\ \frac{1}{EI_c} \int_0^l M \frac{dM}{dH} ds + \frac{1}{ES_c} \int_0^l N \frac{dN}{dH} ds &= 0 \\ \frac{1}{EI_c} \int_0^l M \frac{dM}{dV} ds + \frac{1}{ES_c} \int_0^l N \frac{dN}{dV} ds &= 0 \end{aligned} \right\} [1]$$

Apliquemos estas ecuaciones para los distintos casos de cargas aisladas pero uniformes y variación térmica. No tendremos en cuenta el frenaje, porque no tiene importancia este efecto en arcos rebajados.

Caso de un peso aislado

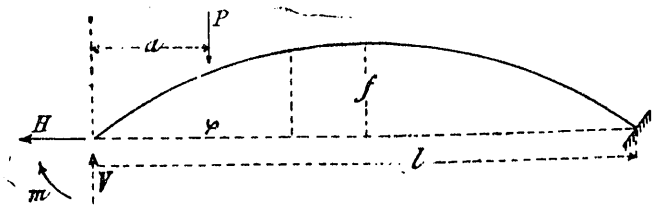
Llamemos a la abscisa del punto de aplicación de un peso aislado P . Se tiene:

$M = m + Hy + Vx - P(x-a)$... x varía de 0 a l para $mHyV$, y de $N = H$ aproximadamente... a l para P

$$\frac{dM}{dm} = 1 \quad \frac{dM}{dH} = y \quad \frac{dM}{dV} = x(l-x)$$

$$\frac{dM}{dV} = x \quad \frac{dN}{dM} = 0 \quad \frac{dN}{dH} = 1 \quad \frac{dN}{dV} = 0$$

Sustituyen los valores y haciendo operaciones en-



contramos las siguientes expresiones para las reacciones:

$$\left. \begin{aligned} V &= P \left(1 - 3 \frac{a^2}{l^2} + 2 \frac{a^3}{l^3} \right) \\ H &= -15P \frac{f a^2}{l} \times \frac{1 - 2 \frac{a}{l} + \frac{a^2}{l^2}}{4f^2 + 45\rho^2} \\ m &= -Pl \times \frac{f^2 \left(4 - 18 \frac{a}{l} + 24 \frac{a^2}{l^2} - 10 \frac{a^3}{l^3} \right) + 45\rho \left(1 - 2 \frac{a}{l} + \frac{a^2}{l^2} \right)}{4f^2 + 45\rho^2} \end{aligned} \right\} [2]$$

Caso de peso uniforme por metro lineal de cuerda

Este es el caso del peso propio de la bóveda. Para determinar las reacciones basta sustituir en las fórmulas anteriores [1] P por pda e integrar entre los límites 0 y l . De este modo encontramos:

$$V = \frac{pl}{2} \quad H = -\frac{f}{2} \times \frac{pl^2}{4f^2 + 45\rho^2}; \quad m = -\frac{15}{4} \times \frac{p\rho^{2/2}}{4f^2 + 45\rho^2}$$

Caso de una variación térmica

Si dejáramos el arco en libertad de dilatarse por un extremo, la única reacción que experimentaría el recorrido sería la horizontal H .

Designando por Δ la variación por metro lineal de cuerda y grado que experimenta el arco bajo el aumento o descenso de temperatura, la variación total será $\int_0^l \Delta \times dl$ y el trabajo elástico valdrá $\int_0^l N \Delta dl$ y el recorrido de la componente horizontal H sería, pues, $\int_0^l \frac{dN}{dH} \times \Delta dl$, que es el término que falta añadir a la segunda de las ecuaciones [1].

$$M = m + Hy + Vx \quad \frac{dM}{dm} = 1 \quad \frac{dM}{dH} = y \quad \frac{dM}{dV} = x$$

$$N = H \cos \alpha \quad \frac{dN}{dH} = \cos \alpha \quad \frac{dN}{dV} = 0$$

¹ Véanse los números de 15 de septiembre y 1.º de octubre últimos, páginas 349 y 365.

Hechas las operaciones correspondientes, se tiene:

$$V = 0 \quad H = -\frac{45EI_c\Delta}{4f^2 + 45\rho^2} \quad m = \frac{30EI_c\Delta f}{4f^2 + 45\rho^2}$$

APLICACIÓN NUMÉRICA DE LAS FÓRMULAS ANTERIORES

Las fórmulas [2] se aplican para el caso de sobrecarga móvil y para los pesos aislados permanentes. Hemos estudiado tres hipótesis de sobrecarga móvil, resultando la más desfavorable cuando el tramo está parcialmente cargado con el tren de la Instrucción. Después de operaciones muy laboriosas encontramos los siguientes valores para las reacciones:

	H kg	m m kg	V kg
Sobrecarga móvil.	79 366	371 630	139 081
Pesos aislados permanentes.....	211 360	26 965	182 100

Las fórmulas [3] sirven para el peso propio de la bóveda. Sabiendo que ésta pesa 16 218 kg por m de cuerda, se tiene:

$$V = 379 899 \text{ kg} \quad H = - 452 240 \text{ kg} \quad m = - 23 365 \text{ m kg}$$

Y, por último, aplicamos las fórmulas [4] para un aumento o descenso de temperatura de 20°. Sabiendo que $\Delta = 0,000011 \text{ m}$, $n = \pm 20^\circ$ y $\rho^2 = 0,062$, se tiene:

$$V = 0 \quad H = 24 280 \text{ kg} \quad m = - 145 660 \text{ m kg}$$

Hemos tomado el signo menos, o sea el caso de un descenso de temperatura, por ser ahora el más desfavorable.

RESUMEN DE REACCIONES

Resumiendo todos los valores encontrados para las reacciones en el empotramiento izquierdo de la bóveda, formamos el siguiente cuadro:

	H kg	m m kg	V kg
Peso propio de la bóveda.....	452 240	23 365	379 899
Pesos aislados permanentes.....	211 360	26 965	182 100
Sobrecarga móvil.	79 366	371 630	139 081
Variación térmica.....	+ 24 280	- 145 660	0
SUMAS.....	718 686	567 620	701 080

$$\text{Esfuerzo normal, } N = 718 686 \times 0,7287 + 701 080 \times 0,6781 = 999 108 \text{ kg.}$$

$$\text{Excentricidad, } e = \frac{567 620}{999 108} = 0,57 \text{ m}$$

En la sección de la clave encontramos los siguientes valores para las reacciones:

$$V = - 32 919 \text{ kg} \quad H = - 767 246 \text{ kg} \quad m = - 396 627 \text{ m kg}$$

$$\text{Excentricidad, } e = \frac{396 627}{767 246} = 0,51 \text{ m}$$

COMPROBACIÓN ELÁSTICA DE LAS SECCIONES

Siguiendo el mismo procedimiento detalladamente explicado en el cálculo de las secciones del viaducto sobre el río Polop, encontramos las siguientes cargas máximas de trabajo:

En la sección de empotramiento

Compresión del hormigón.....	37,53 kg/cm ²
Tracción de la armadura.....	140 kg/cm ²

En la sección de la clave

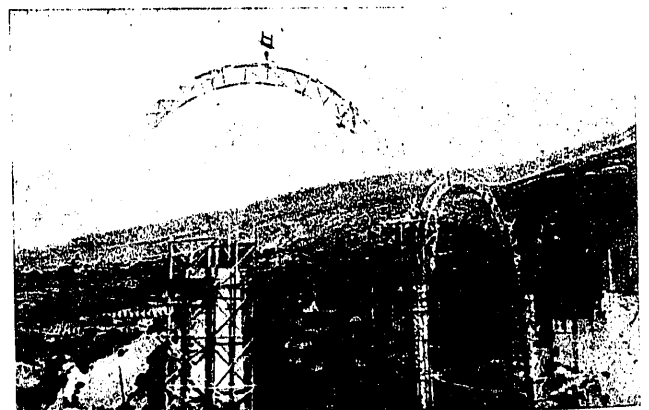
Compresión del hormigón.....	44,92 kg/cm ²
Tracción de la armadura.....	250 kg/cm ²

Las cargas de trabajo resultan, pues, inferiores a las admitidas en la práctica.

DETALLES DE CONSTRUCCIÓN DE LOS VIADUCTOS

Hecha ya la descripción de los viaductos y expuesto con minuciosidad el cálculo de las bóvedas de los mismos, vamos ahora a dar algunos detalles acerca de su ejecución, fijándonos especialmente en el viaducto sobre el río Polop.

En este viaducto, como ya hemos dicho alguna vez, la longitud es de 230 m y la altura de 46 m. No se han encontrado grandes dificultades para la cimentación, excepto sólo en la pila número 4, que se tuvo que profundizar hasta 10 m para encontrar un piso firme constituido por margas duras. Esta profundidad estaba prevista en el proyecto, pues la referida marga afloraba en una cortadura del río. Como la planta del cimiento es de 10,40 m x 8 m, resultó un pozo enorme, cuyas paredes se tuvieron que sostener con una fuerte entibación muy bien entendida. En la pila número 3, o sea la más alta, a los 5 m de profundidad se encontró una marga durísima de excelentes condiciones para cimentar. El macizo de fundación, incluyendo los escalonados, es de 12 m x 10 m, resultando una carga sobre el terreno de 2 kg/cm².



Viaducto del Polop. Transporte de la clave de una cimbra por medio del cable.

que es muy moderada. En esta fundación se tuvieron que emplear agotamientos, pues está emplazada la pila en el mismo eje del río. En el resto de las cimentaciones no ocurrió nada de particular.

La dificultad grande en este viaducto estribaba en la elevación y colocación de las cimbras y arma-

duras para el hormigonado de las bóvedas de los cinco grandes arcos. Para ello se ha utilizado un cable transbordador de dos ramas, que va montado sobre castilletes de madera de 20 m de altura, colocados en los extremos del viaducto. El cable tiene 400 m de longitud, 5 centímetros de diámetro y pesa 7 000 kg, pudiendo transportar un peso de 3 000 kg. Sobre este cable corre un carretón, del cual pende otro cable más delgado que el anterior y que sirve para el transporte del hormigón y para la elevación de las

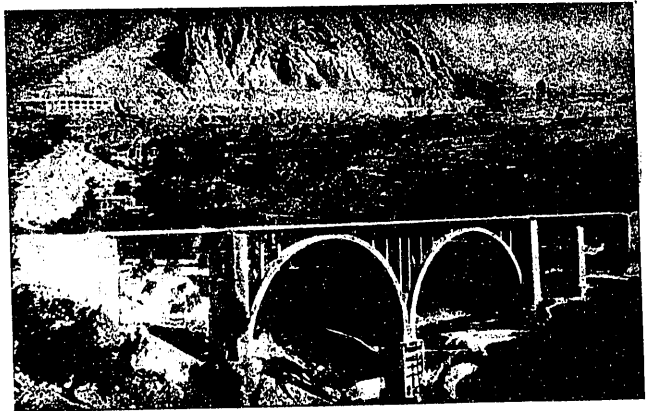
ligrosa, pues los operarios podían apoyarse con seguridad en el entablonado ya establecido.

Todas estas operaciones se han realizado con una



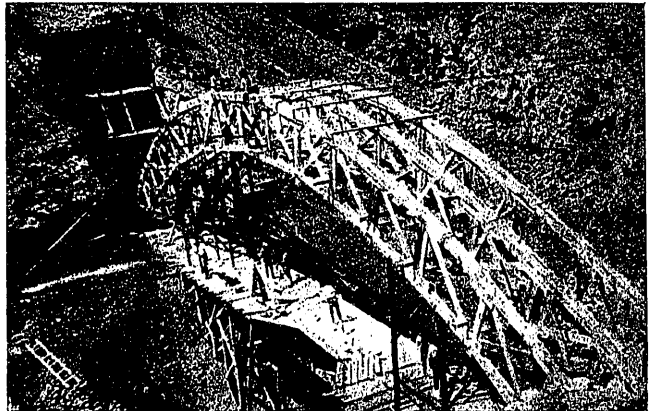
Montaje de las cimbras para el viaducto del Polop.

cimbras y armaduras. Con la combinación del cable sustentador y el elevador se tienen los dos movimientos necesarios para el montaje y construcción, o sean el longitudinal a lo largo del eje del viaducto y el vertical de elevación o descenso. De esta manera se ha ido desarrollando la ejecución de las pilas y se han montado las cimbras y armaduras de los arcos. Cada cimbra estaba dividida en tres trozos, los dos de arranque y el de la clave; se elevaba por medio del cable elevador uno de los trozos de arranques y se dejaba caer en su sitio, dejándolo en la posición debida por medio de fiadores; se hacía lo mismo con



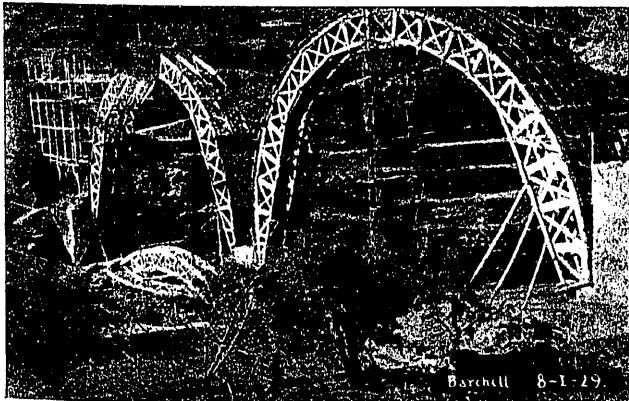
Viaducto del Barchell, terminado, a falta de barandilla y decoración.

facilidad extraordinaria y sin tener nada que lamentar hasta el momento presente. Se tardó quince días para montar las tres cimbras y otros quince para



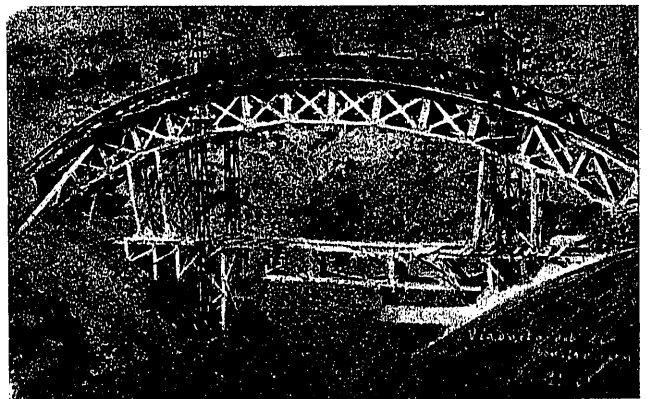
Montaje de la cimbra para el viaducto del Zinc.

montar las cuatro cerchas metálicas de que consta cada bóveda. Las instalaciones del cable, hormigoneras, areneras, etc., etc., están a cargo de la Em-



Colocación de las cimbras para el viaducto del Barchell.

el otro trozo de arranques y, por último, se montaba el trozo de la clave. Cada dos trozos contiguos se unían por medio de tornillos. Montada así una cimbra y bien atirantada, se montó en seguida la segunda, y luego la tercera, arriostándolas en sentido transversal. A continuación, y por encima de las cimbras, se estableció un entablonado, que es el que constituye el encofrado de la bóveda. El mismo procedimiento se siguió para el montaje de las cerchas metálicas de celosía, y la operación ahora es menos pe-

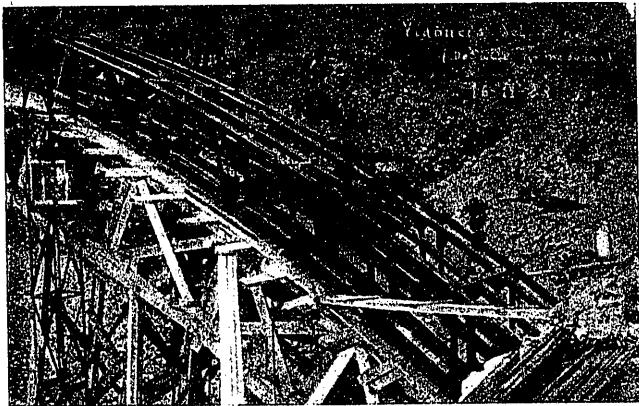


Viaducto del Zinc. Cimbras y cerchas, montadas.

presa *Max Jacobson*, constructora de este viaducto sobre el río Polop, y también de los viaductos Barchell, Zinc y Siete Lunas, comprendidos todos en el trozo tercero del ferrocarril.

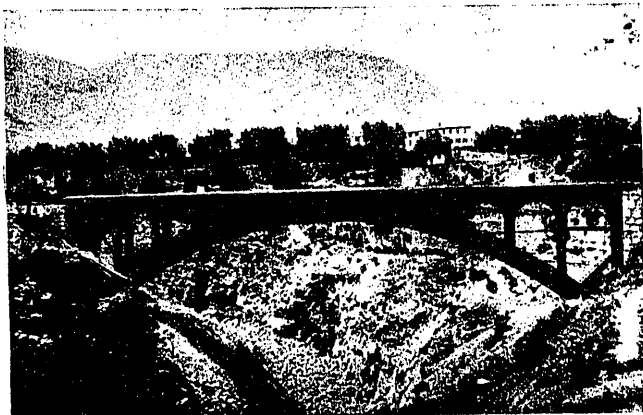
VIADUCTO SOBRE EL RÍO BARCHELL

Diremos sólo algunas palabras acerca de los restantes viaductos del ferrocarril, de los cuales acompañamos algunas fotografías, sacadas en diversos momentos interesantes de la construcción.



Detalle de las cimbras y de las cerchas de la bóveda del viaducto del Zinc

Este viaducto tiene 150 m de longitud y 30 m de altura, constando sólo de dos arcos de 30 m de luz. Para el montaje de las cimbras y cerchas metálicas se utilizaron dos castilletes muy ligeros de celosía y poleas diferenciales. En cada bóveda se tardaron



Viaducto del Zinc, terminado, a falta de brandilla y decoración.

veinte días para montar las cimbras y treinta para la parte metálica. El tiempo que se invirtió en la ejecución de todo el viaducto fué de diez meses, quedando sólo por ejecutar algunos detalles decorativos.

VIADUCTO SOBRE EL BARRANCO DEL ZINC

Este fué el primero de los viaductos que se construyeron. Tiene 56 m de longitud y 25 m de altura, con un gran arco rebajado de $\frac{1}{5}$, de 40 m de luz. El montaje de cimbras y cerchas se hizo con mucha facilidad, siguiendo el mismo procedimiento explicado en el Barchell. Se emplearon veinte días para montar las cimbras y treinta y cinco días para la parte metálica. En la ejecución total del viaducto, excepto algunos detalles decorativos, se invirtieron ocho meses.

VIADUCTO SOBRE EL BARRANCO DE SIETE LUNAS

Tiene este viaducto 69 m de longitud y 20 m de altura, estando constituido por un arco rebajado

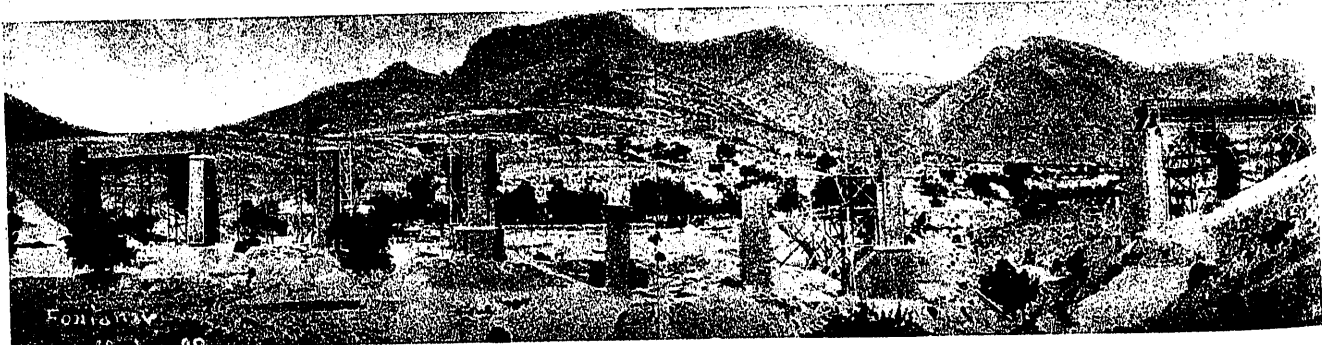


Viaducto de Siete Lunas. En primer término, carretera de Alcoy a Alicante.

al $\frac{1}{5}$, de 44 m de luz. Se siguió el mismo procedimiento de montaje que en el Zinc; incluso se aprovecharon las mismas cimbras, ligeramente reformadas. La bóveda y montantes están ya ejecutados y se está procediendo ahora al montaje del hierro para el forjado.

VIADUCTO SOBRE EL BARRANCO DEL FORN DEL VIDRI

La longitud es de 167 m y la altura de 40 m, teniendo dos arcos de medio punto, de 30 m de luz. Están construídos ya los estribos de avenida y la pila central, y dentro de poco se procederá al montaje de cimbras y parte metálica de los grandes arcos, para lo cual se piensa seguir las mismas normas que en los viaductos anteriores. Los contratistas de este viaducto, así como del siguiente, emplazado en el



Vista general del viaducto del Fontanar. Junio de 1929

Fontanar, son los Sres. Manresa y Concencao, en cuyas obras ponen estos señores todo su celo y cariño.

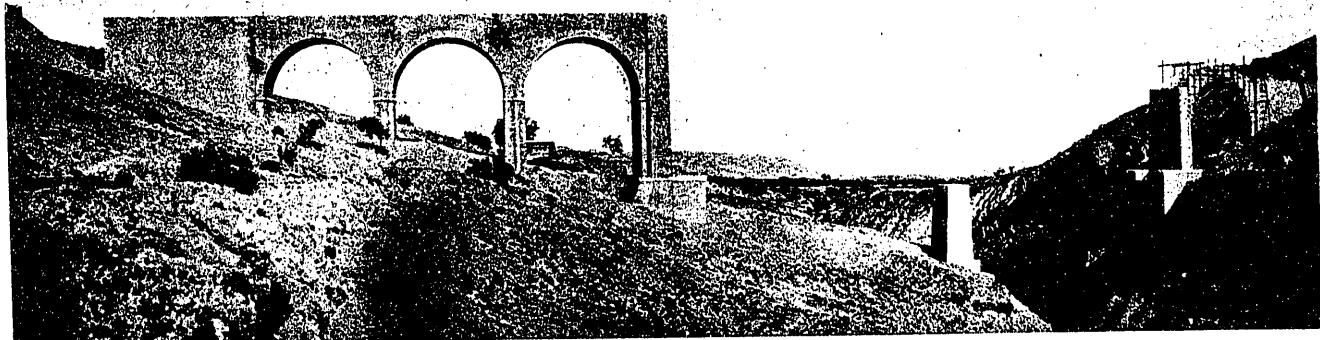
VIADUCTO SOBRE EL BARRANCO DEL FONTANAR

Lo mismo que el anterior, está emplazado este viaducto en el trozo segundo del ferrocarril. Tiene 190 m de longitud y 30 m de altura, disponiendo de un solo arco grande de 30 m de luz.

La construcción está muy adelantada y dentro

En cimientos.....	120 kg de cemento por m ³ de hormigón.
En zócalos.	160 kg de cemento por m ³ de hormigón.
En alzado de pilas.....	200 kg de cemento por m ³ de hormigón.
En partes armadas.....	400 kg de cemento por m ³ de hormigón.

Por excepción, se ha empleado hormigón de 160 kg de cemento en los cimientos de las pilas cen-



de poco se empezará la ejecución de la parte armada.

Como detalle común a las bóvedas de todos los viaductos, el hormigonado de los mismos se ha hecho a sección completa, o sea en todo su espesor, no habiéndose notado el menor descenso durante la ejecución, lo cual denota la bondad de las disposiciones adaptadas y una ventaja más del sistema mixto empleado, de cerchas rígidas y varillas redondas para el armado de las bóvedas.

Los hormigones empleados tienen las dosificaciones siguientes:

trales del *Forn del Vidre y Barchell*, y también por excepción se ha empleado hormigón de 200 kg de cemento en las tres pilas más altas del *Polop*. En todas las coronaciones de pilas y semipilas, y con el objeto de resistir mejor las presiones concentradas, se ha puesto hormigón de 400 kg de cemento en metro y medio de profundidad.

Con esto damos por terminado nuestro trabajo, quizá demasiado extenso, aunque la magnitud de la obra lo justifica y requeriría una pluma más avezada que la mía.

José ROSELLÓ
Ingeniero encargado del ferrocarril
de Alicante a Alcoy.

Sobre la formación profesional¹

II

Como indicábamos en nuestro artículo anterior, el problema de la selección por el ingreso se encuentra naturalmente ligado con la forma de los ejercicios y con los contenidos de los programas, y ahora debemos examinar si las deficiencias que notábamos procedían, más bien que del sistema general, de la manera como actualmente se aplica, y si cambiando o modificando aquellas características sería posible obtener resultados más satisfactorios.

Conviene, ante todo, observar que en este problema del ingreso hay confundidas en la práctica dos cuestiones que, lógicamente al menos, cabe distinguir: es la una la selección propiamente dicha, ya sea parcial o total; es la otra la preparación para la carrera. La primera se propone determinar la capacidad del individuo; la segunda, la suma y calidad de sus conocimientos. Con el sistema de exámenes actualmente adoptado ambas cuestiones se encuentran

mezcladas, y es natural que se procure combinarlas, haciendo recaer los ejercicios sobre materias de ulterior aplicación para el alumno; pero no puede rechazarse como imposible que la Psicotecnia pueda algún día dar solución al primer problema independientemente del segundo.

No parece que hayamos todavía llegado a este caso. La nueva ciencia ha recogido, sin duda, en los últimos años, valiosísimos materiales de estudio y hecho progresos innegables, con aplicación a la orientación profesional, especialmente para las profesiones mecánicas y manuales; pero para juzgar de la capacidad total del individuo, cuyas facultades todas han de entrar en juego en el ejercicio de las profesiones liberales, aun queda, a lo que parece, mucho que andar; las opiniones están divididas; antes de llegar a un acuerdo, las discusiones y las experiencias tenderán que multiplicarse, y, en definitiva, la validez y el éxito de un *test*, en materia tan compleja, sólo podrá ser garantizado por el juicio que las personas inteligentes formaran de los resultados obtenidos, es decir, por una suficiente coincidencia entre los resul-

¹ Véase el número anterior, pág. 368.